

ANALISIS KONSOLIDASI TANAH DI BAWAH BENDUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE AKAR WAKTU DAN METODE HYPERBOLA

Teresa Nadia Luntungan

J. E. R. Sumampouw, Steeva Rondonuwu

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

email: teresa.luntungan@gmail.com

ABSTRAK

Konstruksi bendungan seringkali mengalami keretakan pada dinding atau penurunan. Faktor penyebab masalah tersebut salah satunya adalah proses konsolidasi atau perubahan volume tanah yang terjadi akibat keluarnya air pori. Hal inilah yang diamati untuk mengetahui besarnya penurunan yang terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar penurunan yang akan terjadi pada konstruksi bendungan tersebut. Untuk itu penelitian ini dilakukan dengan pemeriksaan parameter dan pengujian konsolidasi yang dimana untuk nilai C_v akan dibandingkan dan dihitung menggunakan Metode Akar Waktu dan Metode Hyperbola.

Analisis koefisien konsolidasi memperlihatkan bahwa Metode Akar Waktu memberikan nilai C_v yang relatif lebih besar dibandingkan Metode Hyperbola yang diuji dalam tiga sampel tanah. Untuk jenis tanah dalam penelitian ini Metode Hyperbola lebih baik digunakan karena memberikan nilai perhitungan C_v yang kecil dimana lebih cenderung ke jenis tanah lempung dan Metode Akar Waktu akan lebih cenderung ke jenis tanah yang berpasir (cohesionless soil). Kedua metode tersebut dapat digunakan pada penelitian ini sedangkan untuk metode lain seperti Logaritma Waktu tidak dapat digunakan karena tidak sesuai dengan bentuk grafik yang ditentukan. Untuk penurunan konsolidasi diketahui pada sampel satu sebesar 68.074 cm, sampel dua sebesar 23.834 cm, sampel tiga sebesar 67.202 cm dan daya dukung tanah untuk sampel satu sebesar 19.587 kg/cm², sampel dua sebesar 23.834 kg/cm², dan sampel 3 sebesar 21.265 kg/cm². Dari hasil perhitungan kapasitas daya dukung tanah dan penurunan dapat disimpulkan bahwa semakin kecil daya dukung tanah akan semakin besar penurunan, sedangkan semakin besar daya dukung tanah maka semakin kecil penurunan tersebut.

Kata Kunci : *Konsolidasi, Metode Akar Waktu, Metode Hyperbola, Penurunan*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pekerjaan konstruksi yang terletak diatas tanah seringkali mengalami keretakan pada dinding atau penurunan konstruksi baik sebagian atau keseluruhan. Faktor penyebabnya antara lain adalah proses konsolidasi atau perubahan volume tanah yang terjadi akibat keluarnya air pori. Jika suatu lapisan tanah mendapat beban, maka tanah tersebut akan berdeformasi sehingga terjadi regangan. Integrasi regangan disebut penurunan sebagai akibat dari suatu proses konsolidasi.

Dalam proses konsolidasi ada dua masalah yang dihadapi yaitu besarnya penurunan dan jangka waktu yang diperlukan untuk mencapai penurunan maksimum.

Proses konsolidasi pada tanah lempung dapat berlangsung dalam waktu yang cukup lama sehingga diperlukan penyelidikan tanah di lokasi yang akan dijadikan proyek pembangunan.

Sedangkan untuk tanah pasir yang sangat tembus air (*permeable*), air-pori yang ada di dalam tanah dapat mengalir dengan cepat sehingga penurunan segera dan penurunan konsolidasi terjadi bersamaan.

Banyak masalah bangunan, tanggul, bendungan, dan sebagainya yang timbul karena kurang disadari bahwa penurunan merupakan proses yang lambat laun dan dapat berlangsung sampai bertahun-tahun lamanya sehingga terjadi penurunan total yang cukup besar pada akhirnya.

Penurunan yang cukup besar dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur. Kerusakan pada struktur ini nantinya akan berdampak pada terganggunya fungsi suatu bendungan serta dapat menimbulkan kerugian yang besar ditinjau dari segi ekonomi dan sosial.

Batasan Masalah

Pembatasan masalah ini meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Sampel tanah diambil di sekitar proyek Bendungan Kuwil Kabupaten Minahasa Utara (Minut).
2. Beban hanya berupa berat sendiri tanah dan berat air.
3. Mineralogi tanah tidak dibahas.
4. Standar yang digunakan dalam uji laboratorium adalah ASTM (*American Society For Testing Material*) meliputi :
 - Kadar air : D 2216 – 92
 - Berat jenis : D 854 – 92
 - Distribusi ukuran butir tanah : E 100 – 93
 - Batas cair tanah : D 4318 – 93
 - Batas plastis & Indeks Plastis : D 4318 – 93
 - Konsolidasi menggunakan alat odometer berdasarkan ASTM D 2435-90

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui besar penurunan konsolidasi bendungan, melalui pemeriksaan parameter-parameter tanah dan pengujian konsolidasi laboratorium (C_v , C_c , C_r).
2. Mengetahui nilai koefisien konsolidasi (C_v) yang akan dibandingkan dan dihitung menggunakan dua metode yaitu, Akar Waktu dan Hyperbola.
3. Mengetahui nilai kapasitas dukung tanah (q_u) dihitung menggunakan teori terzaghi.

Manfaat Penelitian

1. Mengetahui karakteristik konsolidasi yang terjadi untuk mewaspadai kerusakan konstruksi akibat penurunan. Memberikan masukan kepada instansi terkait untuk mengambil tindakan yang tepat bagi penanganan masalah tersebut.
2. Menganalisa parameter konsolidasi dan deformasi akibat konsolidasi beserta daya dukung tanah, sehingga menghasilkan referensi untuk proyek bendungan sejenis.

LANDASAN TEORI

Bendungan

Bendungan adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan lajur air menjadi waduk, dan danau. Sering kali bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah pembangkit listrik tenaga air. kebanyakan dam juga memiliki bagian yang disebut pintu air untuk membuang air

yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan.

Teori Konsolidasi

Proses konsolidasi atau perubahan volume tanah yang terjadi akibat keluarnya air pori. Jika suatu lapisan tanah mendapat beban, maka pada tanah tersebut akan terjadi deformasi sehingga terjadi regangan. Integrasi regangan disebut penurunan sebagai akibat dari suatu proses konsolidasi. Dalam proses konsolidasi ada dua masalah yang dihadapi yaitu besarnya penurunan dan jangka waktu yang diperlukan untuk mencapai penurunan maksimum. Secara umum penurunan (*settlement*) pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu:

- Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*), yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.
- Penurunan Segera (*Immediate Settlement*), yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air.

METODOLOGI PENELITIAN

Prosedur Penelitian

1. Lokasi Pengambilan Sampel
Sampel tanah yang digunakan merupakan tanah yang diambil di Proyek Bendungan Kuwil, Kaleosan, Kalawat, Kabupaten Minahasa Utara.
2. Setelah pengambilan sampel tanah, dilakukan pengujian konsolidasi menggunakan alat odometer berdasarkan ASTM D 2435-90 (tanah tak terganggu). Persiapan dan pengujian konsolidasi dilakukan untuk mengetahui kecepatan konsolidasi dan besarnya penurunan tanah dengan memberikan beban (1, 2, 4, 8, 16 dan 32 kg/cm²). Dari hasil pengujian konsolidasi akan dilakukan analisis data untuk mengetahui :
 - Angka pori (e_0)
 - Perubahan angka pori (e) tanah pada akhir setiap tahap beban
 - $\Delta e = \frac{H-H_s}{H_s}$
dimana: H = tebal benda uji pada akhir setiap beban (cm)

- Angka pori mula-mula pada setiap pembebanan

$$e = e_0 - \Delta_e$$

- Derajat kejenuhan (S_r) sebelum dan sesudah pengujian

$$S_r = \frac{W \times G_s}{e}$$

- Tentukan koefisien konsolidasi (C_v) dengan Metode Akar Waktu dan Metode Hyperbola
- Menjadikan Metode Logaritma Waktu sebagai tolak ukur dari kedua metode tersebut
- Hitung harga indeks pemampatan (C_c) dan indeks pemampatan kembali (C_r)

Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Tanah

Pemeriksaan yang dilakukan untuk mendukung pengujian konsolidasi yaitu:

- Pemeriksaan Kadar Air (ASTM D 2216-92)
- Pemeriksaan Berat jenis (ASTM D 854-92)
- Pemeriksaan Analisis Saringan (ASTM D 421)
- Pemeriksaan Analisis Hidrometer (ASTM E 100-93)
- Pemeriksaan Batas-batas Atterberg (ASTM D 4318)

Klasifikasi Tanah Menurut USCS (*Unified Soil Classification System*)

- Jika tanah yang diambil tidak sesuai dengan kriteria tanah yang akan digunakan, maka dilakukan pengambilan sampel tanah yang lain kemudian dilakukan pemeriksaan sifat-sifat fisis dan mengklasifikasikan tanah tersebut sampai mendapatkan sampel tanah yang sesuai dengan kriteria yang diinginkan.
- Jika tanah sudah sesuai dengan kriteria yang digunakan, maka dilanjutkan dengan pembuatan benda uji untuk pemeriksaan Konsolidasi.

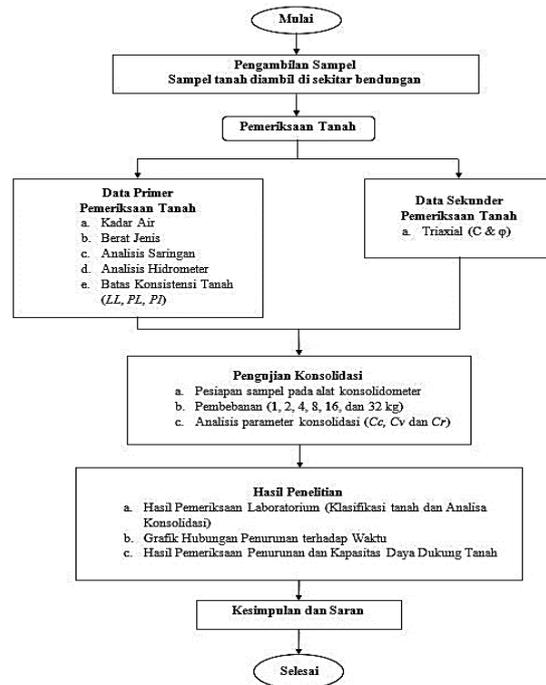
Metode dan Teknis Analisis

Metode analisis yang digunakan bersifat deskriptif dan komunitatif. Teknik analisis yang digunakan untuk memperoleh besarnya penurunan dalam penulisan ini:

- Mengidentifikasi parameter-parameter tanah yang diambil pada proyek bendungan kuwil.
- Menganalisis parameter-parameter konsolidasi berdasarkan hasil uji laboratorium untuk nilai koefisien konsolidasi (C_v) menggunakan Metode Akar Waktu dan Metode Hyperbola.

- Menggunakan Metode Logaritma Waktu sebagai tolak ukur dari metode Akar Waktu dan Hyperbola.
- Melihat perbandingan hasil uji konsolidasi dan besarnya penurunan.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

1. Pengujian Karakteristik Tanah

Hasil pengujian karakteristik dirangkumkan pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Data Karakteristik Tanah

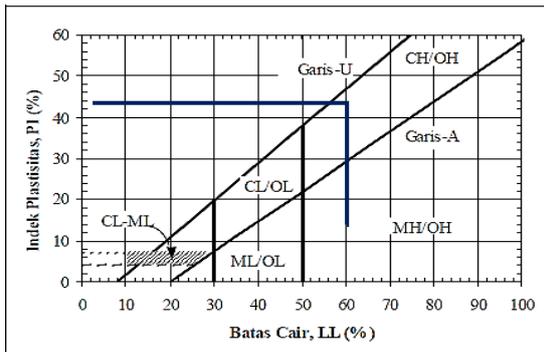
No	Karakteristik	Nilai
1.	Kadar Air (W)	
	a. Tanah Asli (Tak Terganggu)	52.143 %
	b. Tanah Terganggu	13.735 %
2.	Berat jenis (Gs)	2.344
3.	Lolos Saringan No 200	53.41 %
4.	Batas-Batas Konsistensi Tanah	
	a. Batas Cair (LL)	59 %
	b. Batas Plastis (PL)	28.829 %
	c. Indeks Plastisitas (PI)	30.171 %

Tabel 2. Hasil Pengujian Batas-batas Konsistensi Tanah

LL	PL	PI	Contoh dalam keadaan asli/ kering udara
59%	28.829 %	30.171%	

Pembahasan

1. Klasifikasi Tanah Sistem USCS



Gambar 2. Diagram Plastisitas Tanah Berbutir Halus

Dari gambar 2, hasil plot menunjukkan suatu titik pertemuan diatas garis A. titik temu itu menjelaskan jenis tanah yang diuji. Dengan hasil diatas maka tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung “gemuk” (*fat clays*).

Tabel 3. Klasifikasi Sistem USCS

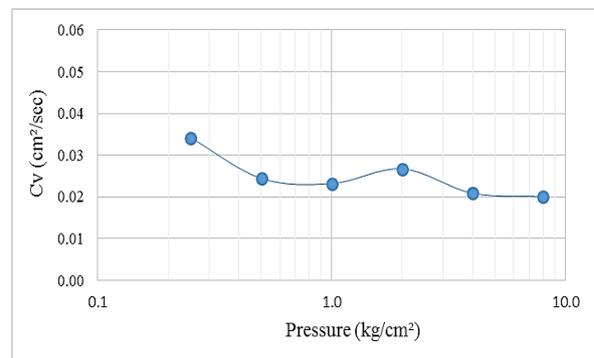
Divisi Utama	Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi
Tanah berbutir kasar-50% butiran lebih sampan No. 200	Kerikil 50%-finisi kasar terbutir sampan No. 4	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
	Pasir 50% finisi kasar terbutir sampan No. 4	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
Tanah berbutir halus 50% atau lebih, lolos sampan No. 200	Pasir berbutir (banyak pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
	Lanau dan lempung butiran kasar ≤ 50%	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
Tanah berbutir halus 50% atau lebih, lolos sampan No. 200	Lanau dan lempung butiran kasar ≤ 50%	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung “kurus” (<i>lean clays</i>)
	Lanau dan lempung butiran kasar ≥ 50%	OL	Lanau-organik dan lempung berlanau-organik dengan plastisitas rendah
		MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	Lanau dan lempung butiran kasar ≥ 50%	CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung “gemuk” (<i>fat clays</i>)
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488

2. Pengujian Konsolidasi

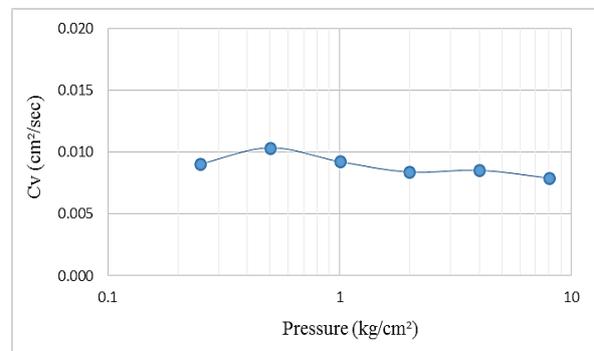
- Pengujian Sampel 1

Tabel 4. Parameter Hasil Uji Konsolidasi

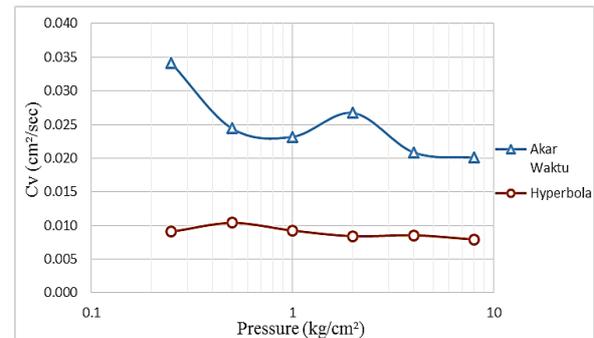
Sampel 1	Akar Waktu	Hyperbola
P	Cv	Cv
kg/cm ²	cm ² /sec	cm ² /sec
0.25	0.03414	0.00907
0.50	0.02442	0.01038
1	0.02317	0.00925
2	0.02672	0.00841
4	0.02086	0.00855
8	0.02007	0.00793



Grafik 1. Koefisien Konsolidasi (Cv) dengan Metode Akar Waktu



Grafik 2. Koefisien Konsolidasi (Cv) dengan Metode Hyperbola

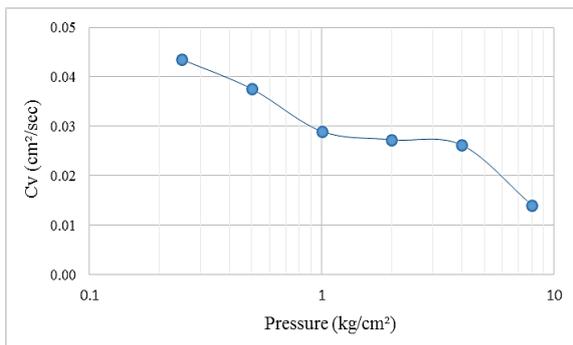


Grafik 3. Perbandingan Nilai Koefisien Konsolidasi (Cv) dengan Kedua Metode

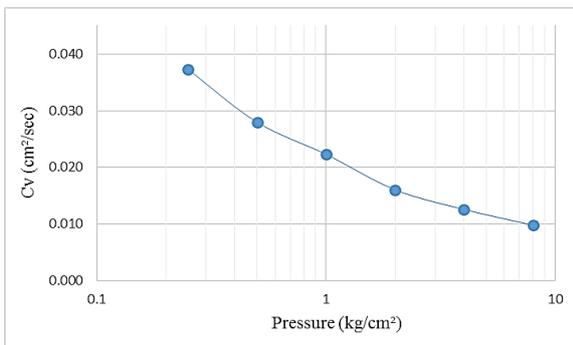
• Pengujian Sampel 2

Tabel 5. Parameter Hasil Uji Konsolidasi

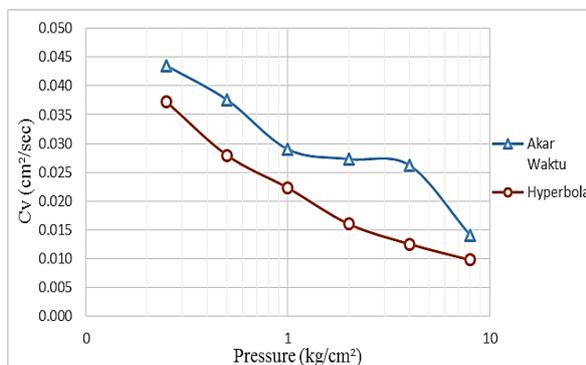
Sampel 2	Akar Waktu	Hyperbola
P	Cv	Cv
kg/cm ²	cm ² /sec	cm ² /sec
0.25	0.04353	0.03726
0.50	0.03758	0.02796
1	0.02900	0.02229
2	0.02729	0.01603
4	0.02623	0.01255
8	0.01411	0.00978



Grafik 4. Koefisien Konsolidasi (Cv) dengan Metode Akar Waktu



Grafik 5. Koefisien Konsolidasi (Cv) dengan Metode Hyperbola

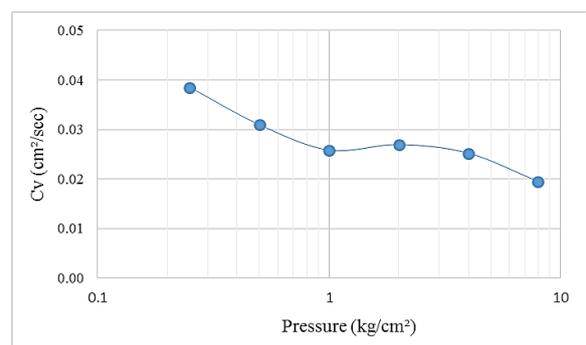


Grafik 6. Perbandingan Nilai Koefisien Konsolidasi (Cv) dengan Kedua Metode

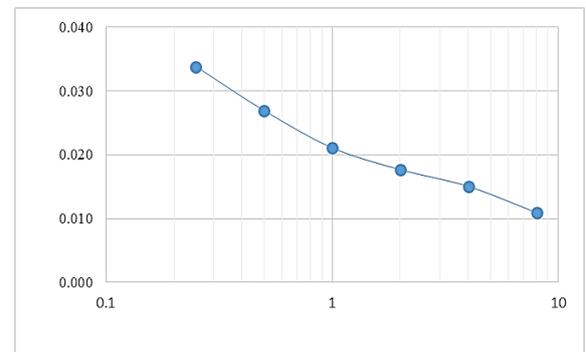
• Pengujian Sampel 3

Tabel 6. Parameter Hasil Uji Konsolidasi

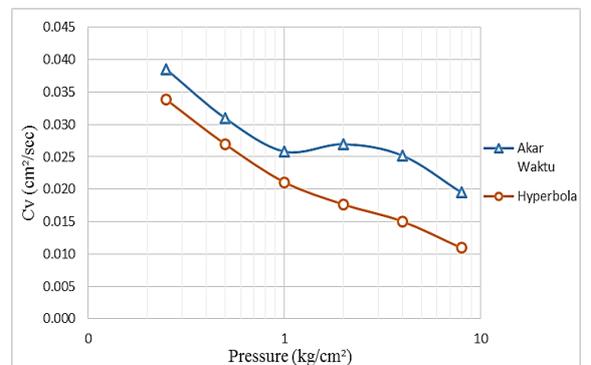
Sampel 3	Akar Waktu	Hyperbola
P	Cv	Cv
kg/cm ²	cm ² /sec	cm ² /sec
0.25	0.03853	0.03384
0.50	0.03096	0.02694
1	0.02583	0.02110
2	0.02696	0.01766
4	0.02520	0.01504
8	0.01950	0.01093



Grafik 7. Koefisien Konsolidasi (Cv) dengan Metode Akar Waktu



Grafik 8. Koefisien Konsolidasi (Cv) dengan Metode Hyperbola



Grafik 9. Perbandingan Nilai Koefisien Konsolidasi (Cv) dengan Kedua Metode

Dari hasil percobaan konsolidasi satu dimensi yang dilakukan menggunakan standar ASTM D 2435-90 dengan pembebanan 1, 2, 4, 8, 16, dan 32 kg pada tanah yang diambil pada Proyek Bendungan Kuwil. Dengan menggunakan dua metode, yaitu Akar Waktu dan Hyperbola diperoleh nilai koefisien konsolidasi (C_v) yang dimana Metode Akar Waktu memberikan nilai C_v lebih besar dibandingkan metode Hyperbola yang diuji dalam tiga sampel tanah (tabel 4, 5, dan 6).

3. Penentuan Nilai C_v dengan Metode Logaritma Waktu.

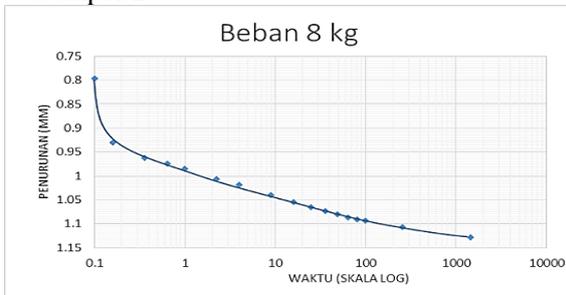
Dari hasil pengujian didapat grafik sebagai berikut:

• Sampel 1



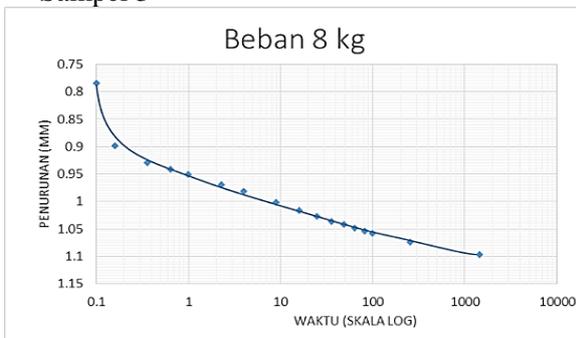
Grafik 10. Penurunan untuk Menghitung Nilai C_v

• Sampel 2



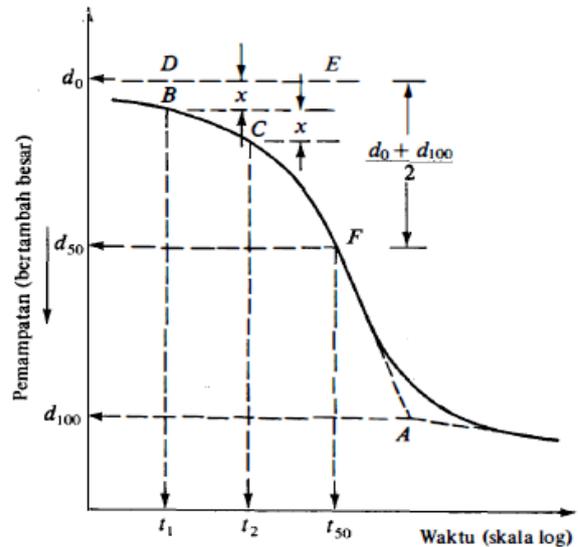
Grafik 11. Penurunan untuk Menghitung Nilai C_v

• Sampel 3



Grafik 12. Penurunan untuk Menghitung Nilai C_v

Dari analisis kedua metode yang digunakan dalam perhitungan nilai koefisien konsolidasi (C_v), kedua metode tersebut dapat digunakan pada jenis tanah dalam penelitian ini. Sedangkan untuk metode lainnya seperti Metode Logaritma Waktu tidak dapat digunakan untuk tanah dalam penelitian ini karena tidak sesuai dengan bentuk grafik yang ditentukan. Dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini.



Gambar 3. Grafik Penentuan Nilai C_v dengan Metode Logaritma Waktu

4. Perhitungan Penurunan

Dari hasil pengujian laboratorium dapat dihitung besarnya penurunan tanah (terkonsolidasi normal) sebagai berikut:

Dimana untuk kedalaman diperkirakan sekitar 20m dibawah bendungan.

a. Sampel 1

$$C_c = 0.18983$$

$$P_0 = 3.302 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta P = 2.27 \text{ kg/cm}^2$$

$$e_0 = 1.175$$

$$S = \frac{0.18983 \times 2000}{1 + 1.175} \log \left(\frac{3.302 + 2.27}{2.27} \right)$$

$$= 68.074 \text{ cm}$$

b. Sampel 2

$$C_c = 0.15789$$

$$P_0 = 3.446 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta P = 1.98 \text{ kg/cm}^2$$

$$e_0 = 1.076$$

$$S = \frac{0.15789 \times 2000}{1 + 1.076} \log \left(\frac{3.446 + 1.98}{1.98} \right)$$

$$= 66.596 \text{ cm}$$

c. Sampel 3

$$C_c = 0.16697$$

$$P_0 = 3.360 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta P = 1.97 \text{ kg/cm}^2$$

$$e_0 = 1.148$$

$$S = \frac{0.16697 \times 2000}{1 + 1.148} \log \left(\frac{3.360 + 1.97}{1.97} \right)$$

$$= 67.202 \text{ cm}$$

Dari analisis penurunan konsolidasi diketahui besar penurunan sebagai berikut, sampel satu sebesar 68.074 cm, sampel dua sebesar 66.596 cm dan sampel tiga sebesar 67.202 cm. Dari hasil ketiga sampel didapat nilai penurunan terbesar terdapat pada sampel satu yaitu sebesar 68.074 cm dan penurunan terkecil terdapat pada sampel dua sebesar 66.596 cm.

5. Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tanah

(q_u)

Untuk perhitungan kapasitas daya dukung tanah menggunakan rumus:

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.3\gamma BN_\gamma$$

a. Sampel 1

$$c = 0.388 \text{ kg/cm}^2 \quad \phi = 14^\circ$$

$$\gamma = 1.651 \text{ gr/cm}^3 \quad N_c = 12.24$$

$$q = 3.302 \text{ kg/cm}^2 \quad N_q = 4.06$$

$$B = 6.3 \text{ m} \quad N_\gamma = 2.24$$

$$\text{Maka } q_u = 19.587 \text{ kg/cm}^2$$

b. Sampel 2

$$c = 0.366 \text{ kg/cm}^2 \quad \phi = 16^\circ$$

$$\gamma = 1.723 \text{ gr/cm}^3 \quad N_c = 13.86$$

$$q = 3.446 \text{ kg/cm}^2 \quad N_q = 5$$

$$B = 3.6 \text{ m} \quad N_\gamma = 3$$

$$\text{Maka } q_u = 23.834 \text{ kg/cm}^2$$

c. Sampel 3

$$c = 0.386 \text{ kg/cm}^2 \quad \phi = 15^\circ$$

$$\gamma = 1.680 \text{ gr/cm}^3 \quad N_c = 12.9$$

$$q = 3.360 \text{ kg/cm}^2 \quad N_q = 4.4$$

$$B = 6.3 \text{ m} \quad N_\gamma = 2.5$$

$$\text{Maka } q_u = 21.265 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk kapasitas daya dukung tanah (q_u) digunakan teori Terzaghi didapat hasil sebagai berikut, sampel satu sebesar 19.587 kg/cm², sampel dua sebesar 23.834 kg/cm² dan sampel tiga sebesar 21.265 kg/cm². Dari hasil didapat nilai kapasitas daya dukung tanah (q_u) terbesar terdapat pada sampel dua sebesar 23.834 kg/cm² dan terkecil terdapat pada sampel satu sebesar 19.587 kg/cm².

Dari hasil perhitungan kapasitas daya dukung tanah dan penurunan dapat disimpulkan bahwa semakin kecil daya dukung tanah akan semakin besar penurunan, sedangkan semakin besar daya dukung tanah maka semakin kecil penurunan tersebut.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil penelitian, perhitungan dan analisis diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan nilai koefisien konsolidasi (C_v) dengan dua metode berbeda yang dimana menunjukkan bahwa Metode Akar Waktu memberikan nilai koefisien konsolidasi (C_v) yang relatif lebih besar dibandingkan dengan Metode Hyperbola yang diuji dalam tiga sampel tanah (tabel 4, 5, dan 6).
2. Jenis tanah dalam penelitian ini memiliki sifat lempung, yang dimana Metode Hyperbola lebih baik digunakan karena memberikan nilai perhitungan koefisien konsolidasi (C_v) yang kecil. Sehingga untuk Metode Hyperbola lebih cenderung ke jenis tanah lempung, sedangkan untuk Metode Akar Waktu akan lebih cenderung ketanah yang berpasir (*Cohesionless Soil*).
3. Dari analisis kedua metode yang digunakan dalam perhitungan nilai koefisien konsolidasi (C_v) dapat digunakan pada jenis tanah dalam penelitian ini, sedangkan untuk metode lainnya seperti Metode Logaritma Waktu tidak dapat digunakan untuk tanah dalam penelitian ini karena tidak sesuai dengan bentuk grafik yang ditentukan.
4. Dari analisis penurunan konsolidasi dan kapasitas daya dukung tanah (q_u) diketahui nilainya sebagai berikut, penurunan sampel satu sebesar 68.074 cm, sampel dua sebesar 66.596 cm dan sampel tiga sebesar 67.202 cm, untuk kapasitas daya dukung tanah sampel satu sebesar 19.587 kg/cm², sampel dua sebesar 23.834 kg/cm² dan sampel tiga sebesar 21.265 kg/cm². Nilai penurunan terbesar terdapat pada sampel satu yaitu sebesar 68.074 cm dan terkecil terdapat pada sampel dua sebesar 66.596 cm, untuk nilai kapasitas daya dukung tanah terbesar terdapat pada sampel dua sebesar 23.834 kg/cm² dan terkecil terdapat pada sampel satu sebesar 19.587 kg/cm². Dari hasil perhitungan kapasitas daya dukung tanah dan penurunan dapat disimpulkan bahwa

semakin kecil daya dukung tanah akan semakin besar penurunan, sedangkan semakin besar daya dukung tanah maka semakin kecil penurunan tersebut.

Saran

1. Perlu penelitian lanjut untuk mendesain bendungan yang dapat menghasilkan penurunan minimum, dan juga menggunakan program untuk menganalisis penurunan konsolidasi dengan membandingkan hasil perhitungannya.
2. Perlu dilakukan perhitungan lanjutan dengan menggunakan Metode Logaritma Waktu.
3. Perlu penelitian lanjutan untuk mengetahui metode terbaik untuk digunakan ke jenis tanah yang cenderung berpasir (*Cohesionless Soil*) dan jenis tanah lempung murni (*Soft Clay*).
4. Untuk pengembangan, perlu dilakukan investigasi lapangan lebih banyak agar dapat mengetahui kondisi-kondisi atau perilaku suatu bendungan, untuk pemilihan pondasi yang lebih akurat terhadap penurunan tanah dibawah bendungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E., 1989. *Sifat –Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Edisi Kedua. Erlangga, Jakarta.
- Chan, Wai-Fah. 1975. *Analysis and Soil Plasticity*.
- Craig, R. F., Soepandji, B. B., 1987. *Mekanika Tanah, Edisi Keempat*. Gelora Aksara Pratama, Jakarta.
- Das, Braja M., 1990. *Principles of Geotechnical Engineering, Second Edition*. 1990. PWS Publisher.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah Prinsip–Prinsip Geoteknik*, Jilid 1. Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, Hary C., 1996. *Mekanika Tanah 1*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hardiyatmo, Hary C., 2002. *Mekanika Tanah 1*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Leonard, G. A., 1962. *Soil Stabilization, Foundation Engineering*, McGrawhill, New York.
- Muntohar, A. S., 2009. *Konsolidasi Satu Parameter*, Universitas Muhammadiyah, Yogyakarta.
- Poluan, Fritty., 2011. *Analisis Konsolidasi terhadap Penurunan yang Terjadi pada Bendungan Urungan Tanah*. Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sherard J. L., Woodward R. J., Giziensky F. S., Clevernger W. A., 1963. *Earth and Earth-Rock Dams*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Taylor, D. W., 1948. *Fundamentals of Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Terzaghi, K., dan Peck R. B., 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd ed., John Wiley and Sons, Inc. New York.